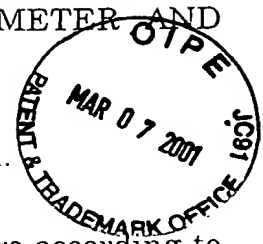


(1) Japanese Patent Application Laid-Open No. 10-187772 (1998):

"METHOD OF ASSISTING IN GENERATING MODEL PARAMETER AND  
DEVICE THEREOF"



The following is an extract relevant to the present application.

Steps of a method of assisting in generating model parameters according to the first preferred embodiment of the present invention will now be described with reference to a flowchart shown as Fig. 1. As a step 100, a desired device characteristic and data such as variation of process parameters are inputted from a data input and output section 2 and stored in an internal storage section 9 or an external storage section 3 in Fig. 2.

A data processing section 1 calculates a model parameter sensitivity using a circuit simulator 6 as a step 102, and calculates a process parameter sensitivity as a step 104. The steps 102 and 104 can be performed independently with each other. The model parameter sensitivity is calculated near a reference model parameter using a reference model parameter 10 stored in the external storage section 3 and a name of a device characteristic of interest inputted from the input and output section 2 as input data. This process is based on the fact that the model parameter sensitivity can be regarded as linear when calculated near a reference model parameter. Likewise, a process parameter sensitivity to a model parameter is calculated near a reference process parameter set using process information, i.e., a reference process parameter and a mask data indicative of a mask pattern.

As a step 106, an estimate process of the amount of change in a process parameter is made using a difference between a desired device characteristic and a device characteristic indicated by a reference model parameter set, and the respective sensitivity of the model parameter and the process parameter provided at said step 102 and 104. Specifically, the estimate process of the amount of change  $\Delta P$  in a process parameter is made as follows:

(1) In a case of 1 characteristic and 1 process parameter, an equation (1) is formulated, from which an equation (2) is derived.  $\Delta D$  denotes the amount of shift in a device characteristic,

$$\frac{\partial D}{\partial Si}$$

denotes a model parameter sensitivity, and

$$\frac{dSi}{dP}$$

denotes a process parameter sensitivity.

(2) In a case of M characteristics and M process parameters, an equation (3) is formulated.  $\Delta D$  denotes the amount of shift in the ith device characteristic,

$$\frac{\partial Di}{\partial Si}$$

denotes a model parameter sensitivity with respect to the ith device characteristic, and

$$\frac{dSk}{dPj}$$

denotes a process parameter sensitivity to the kth model parameter.

The above equations determine the amount of change  $\Delta P$  in a process parameter by a linear approximate expression using a model parameter sensitivity and a process parameter sensitivity.

Next, as a step 108, the data processing section 1 determines a model parameter which indicates the desired device characteristic using the process parameter sensitivity provided at said step 104 and the amount of change in a process parameter provided at said step 106. This calculation of a model parameter set can be performed as shown in equations (4) or (5) using a value Si typ provided by the reference model parameter 10 stored in the external storage section 3. The equation (4) applies for a case of 1 characteristic and 1 parameter and the equation (5) applies for a case of M characteristics and M parameters. Further, as a step 110, the optimization of the provided model parameter is performed using an optimizer 7 or/and a RSM (Response Surface Model) generating tool 8 to output the results. Specifically, the value of the model parameter is adjusted setting the model parameter set provided at said step 108 as an initial value, so that a difference between a desired device characteristic and a device characteristic indicated by a model parameter set becomes smaller than or equal to a predetermined tolerable value, thereby making it possible to output a model parameter set more conformable to the desired device characteristic.

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-187772

(43)公開日 平成10年(1998)7月21日

(51)IntCl.<sup>6</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 6 F 17/50

G 0 6 F 15/60

6 6 2 G

G 0 1 R 31/28

H 0 1 L 21/00

H 0 1 L 21/00

29/00

29/00

G 0 1 R 31/28

F

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 11 頁)

(21)出願番号

特願平8-339441

(22)出願日

平成8年(1996)12月19日

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 川喜田 秀 行

神奈川県川崎市幸区堀川町580番1号 株

式会社東芝半導体システム技術センター内

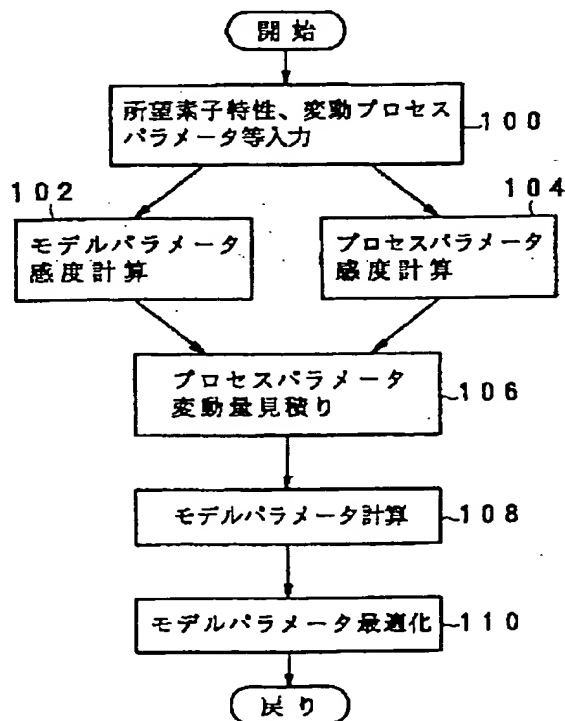
(74)代理人 弁理士 佐藤 一雄 (外3名)

(54)【発明の名称】 モデルパラメータ作成支援方法及びその装置

(57)【要約】

【課題】 プロセスのばらつきを考慮してモデルパラメータを作成する場合、大量の素子のサンプルを測定しなければならず、あるいはシミュレーションを行って素子特性を予測してモデルパラメータを作成する場合は精度が低いという問題があった。

【解決手段】 素子特性に対するモデルパラメータ感度を計算し(ステップ102)、モデルパラメータに対するプロセスパラメータ感度を計算し(104)、所望の素子特性と基準モデルパラメータセットの示す素子特性の差と、求めたモデルパラメータ及びプロセスパラメータの感度とを用いてプロセスパラメータの変動量を見積もり(106)、得られた変動量とプロセスパラメータ感度と基準モデルパラメータセットとを用いて所望の素子特性を有するモデルパラメータセットを算出する(108)。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】素子特性に対するモデルパラメータ感度を、基準モデルパラメータセットの近傍で算出するモデルパラメータ感度演算手段と、  
モデルパラメータに対するプロセスパラメータ感度を、基準プロセスパラメータセットの近傍で算出するプロセスパラメータ感度演算手段と、  
所望の素子特性と前記基準モデルパラメータセットの示す素子特性との差と、算出した前記モデルパラメータ感度及び前記プロセスパラメータ感度とを用いて、プロセスパラメータの変動量を見積るプロセスパラメータ変動量見積り手段と、  
見積られた前記プロセスパラメータの変動量と、前記プロセスパラメータ感度及び前記基準モデルパラメータセットとを用いて、前記所望の素子特性を有するようなモデルパラメータセットを算出するモデルパラメータ演算手段と、  
を備えることを特徴とするモデルパラメータ作成支援装置。

【請求項 2】前記モデルパラメータセットに含まれる任意のモデルパラメータに対するプロセスパラメータの感度と所定の許容値とを比較して、前記プロセスパラメータの感度が前記許容値以下の場合には、前記プロセスパラメータの感度を無視し得ると判定する低感度プロセスパラメータ判定手段をさらに備え、  
前記低感度プロセスパラメータ判定手段が、あるモデルパラメータに対し、全ての計算対象のプロセスパラメータの感度は無視し得ると判定した場合、前記モデルパラメータ感度演算手段は、当該モデルパラメータについては素子特性に対するモデルパラメータ感度の算出を行わず、さらに、前記モデルパラメータ演算手段は、当該モデルパラメータについては前記モデルパラメータセットの算出を行わずに、モデルパラメータセットの値として前記基準モデルパラメータの値を出力することを特徴とする請求項 1 記載のモデルパラメータ作成支援装置。

【請求項 3】前記プロセスパラメータ変動量見積り手段が演算する際に、素子特性の数と、プロセスパラメータの数とが一致するように、プロセスパラメータの数を削減するための素子特性制御判定手段、制御不可素子特性削除手段、及びプロセスパラメータ削除手段をさらに備え、  
前記素子特性制御判定手段は、各々の素子特性をいずれかのプロセスパラメータにより制御することが可能か否かを判定し、  
前記制御不可素子特性削除手段は、前記素子特性制御判定手段がいずれのプロセスパラメータによっても制御不可であると判定した素子特性を削除し、  
前記プロセスパラメータ削除手段は、前記制御不可素子特性削除手段が削除して減少した素子特性の数と一致するまで、素子特性に与える影響が小さいプロセスパラメ

ータを削除することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載のモデルパラメータ作成支援装置。

【請求項 4】回路シミュレーションに用いるモデルパラメータセットの作成を支援する方法において、  
素子特性に対するモデルパラメータ感度を、基準モデルパラメータセットの近傍で算出するステップと、  
モデルパラメータに対するプロセスパラメータ感度を、基準プロセスパラメータセットの近傍で算出するステップと、  
所望の素子特性と前記基準モデルパラメータセットの示す素子特性との差と、算出した前記モデルパラメータ感度及び前記プロセスパラメータ感度とを用いて、プロセスパラメータの変動量を見積るステップと、  
見積られた前記プロセスパラメータの変動量と、前記プロセスパラメータ感度及び前記基準モデルパラメータセットとを用いて、前記所望の素子特性を有するようなモデルパラメータセットを算出するステップと、  
を備えることを特徴とするモデルパラメータ作成支援方法。

【請求項 5】前記モデルパラメータセットに含まれる任意のモデルパラメータに対するプロセスパラメータの感度と所定の許容値とを比較して、前記プロセスパラメータの感度が前記許容値以下の場合には、前記プロセスパラメータの感度を無視し得ると判定するステップをさらに備え、  
このステップにより、あるモデルパラメータに対し、全ての計算対象のプロセスパラメータの感度は無視し得ると判定した場合、前記モデルパラメータ感度を演算するステップでは、当該モデルパラメータについては素子特性に対するモデルパラメータ感度の算出を行わず、さらに、前記モデルパラメータを演算するステップでは、当該モデルパラメータについては前記モデルパラメータセットの算出を行わずに、モデルパラメータセットの値として前記基準モデルパラメータの値を出力することを特徴とする請求項 4 記載のモデルパラメータ作成支援方法。

【請求項 6】前記プロセスパラメータ変動量を見積るステップは、素子特性の数と、プロセスパラメータの数とが一致するように、プロセスパラメータの数を削減するためのステップをさらに備え、このステップは、  
各々の素子特性をいずれかのプロセスパラメータにより制御することが可能か否かを判定し、  
いずれのプロセスパラメータによっても制御不可であると判定した素子特性を削除し、  
削除して減少した素子特性の数と一致するまで、素子特性に与える影響が小さいプロセスパラメータを削除する処理を含むことを特徴とする請求項 4 又は 5 記載のモデルパラメータ作成支援方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電子回路設計で行われている回路シミュレーションにおいて用いられるモデルパラメータセットの作成を支援する方法及びその装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、集積回路の低電力化及びトランジスタサイズの微小化が進行するのに伴い、素子特性の余裕が極めて少ない条件下で回路設計をせざるを得ない状況になってきた。このことは、回路シミュレーションを行う時に必要な素子の特性を決定するためのモデルパラメータに高い精度と、プロセスのばらつきへの考慮とが要求されることを意味する。ここで、モデルパラメータとは素子の端子間の電圧と該端子に流れる電流との関係を決定するパラメータである。

【0003】さらに、近年の製品開発期間短縮要求により、プロセス開発と回路設計とを同時に進行するコンカレント設計が必要となっている。これは、回路設計者にとり、暫定的なモデルパラメータと素子特性の保証値に基づいて、回路設計を進めていかななくてはならないことを意味する。

【0004】一般に、モデルパラメータは、試作した素子の特性を測定して解析することによって求め、あるいは非線形最適化を行って求めている。また、モデルパラメータを自動的に抽出するツールも、例えばHewlett Packard 社からICCAP という商品名で市販されている。このようなツールによれば、パラメータを抽出することはできるが、プロセスのばらつきを考慮したモデルパラメータを作成する場合には、試作した大量の素子をサンプルとしてパラメータを抽出しなければならず、膨大な手間と時間を必要とする。

【0005】一方、プロセスによって実現される素子構造のシミュレーションを行うプロセスシミュレータ、あるいは素子構造により得られるデバイスの特性をシミュレーションするデバイスシミュレータを用いて、素子の生成をシミュレートしてモデルパラメータを抽出するツールも、例えばPDF 社のpdfFab という商品名で市販されるに至っている。このツールを用いることにより、早期にモデルパラメータを抽出することができる上に、プロセス変動に伴う素子特性の変化をシミュレートすることが可能であり、プロセスのばらつきを考慮したモデルパラメータを作成することができる。

【0006】しかし、このようなツールを用いる手法では、プロセスシミュレーション及びデバイスシミュレーションあるいはパラメータ計算式の精度がモデルパラメータに大きく影響し、抽出したモデルパラメータの精度が低いという問題があった。

【0007】さらに、各モデルパラメータは相互に完全に独立した関係にはなく、類似の素子特性を有する複数のモデルパラメータの組み合わせ（モデルパラメータセット）が存在すると考えられる。よって、試作した素子

から抽出したモデルパラメータと、プロセスシミュレーション等を行って求めたモデルパラメータでは、モデルパラメータの値と特性の關係に連続性がなくなるという問題があった。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、従来はプロセスのばらつきを考慮してモデルパラメータを抽出しようとする、大量の素子のサンプルを測定する必要があり、あるいはプロセスシミュレーション等により素子特性を予測してモデルパラメータを抽出する場合はモデルパラメータの精度が低く、またサンプルから抽出したモデルパラメータとの間に連続性がなくなるという問題があった。

【0009】本発明は上記事情に鑑みてなされたもので、プロセスの開発において設定された目標素子特性や素子特性のばらつき保証範囲に関する情報を利用して、素子のサンプルからのモデルパラメータの抽出回数を減少させ、かつ所望の素子特性を有し特性に連続性があるモデルパラメータのセットの作成を支援する方法及びその装置を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明のモデルパラメータ作成支援装置は、回路シミュレーションに用いるモデルパラメータセットの作成を支援するものであって、素子特性に対するモデルパラメータ感度を、基準モデルパラメータセットの近傍で算出するモデルパラメータ感度演算手段と、モデルパラメータに対するプロセスパラメータ感度を、基準プロセスパラメータセットの近傍で算出するプロセスパラメータ感度演算手段と、所望の素子特性と前記基準モデルパラメータセットの示す素子特性との差と、算出した前記モデルパラメータ感度及び前記プロセスパラメータ感度とを用いて、プロセスパラメータの変動量を見積るプロセスパラメータ変動量見積り手段と、見積られた前記プロセスパラメータの変動量と、前記プロセスパラメータ感度及び前記基準モデルパラメータセットとを用いて、前記所望の素子特性を有するようなモデルパラメータセットを算出するモデルパラメータ演算手段とを備えることを特徴とする。

【0011】また、本発明の回路シミュレーションに用いるモデルパラメータセットの作成を支援する方法は、素子特性に対するモデルパラメータ感度を、基準モデルパラメータセットの近傍で算出するステップと、モデルパラメータに対するプロセスパラメータ感度を、基準プロセスパラメータセットの近傍で算出するステップと、所望の素子特性と前記基準モデルパラメータセットの示す素子特性との差と、算出した前記モデルパラメータ感度及び前記プロセスパラメータ感度とを用いて、プロセスパラメータの変動量を見積るステップと、見積られた前記プロセスパラメータの変動量と、前記プロセスパラメータ感度及び前記基準モデルパラメータセットとを用

いて、前記所望の素子特性を有するようなモデルパラメータセットを算出するステップとを備えることを特徴としている。

#### 【0012】

【発明の実施の形態】以下、本発明の一実施の形態について図面を参照して説明する。本発明の実施の形態によるモデルパラメータ作成支援装置は、図2に示されるような構成を備えている。データ入出力部2は、オペレータが各種データをキーボード等から入力し、またモニタ装置等によりデータを表示するものである。図4及び図5に、それぞれ画面の表示例を示す。先ず、図4に所望の素子特性をデータ入出力部2に入力するときの画面表示の一例を示す。各種特性A、B、C、…が予め設定されており、それぞれの欄に“120”、“5E9”等の値を入力していく。このように、予め素子特性が装置側に定義されている場合は、各素子特性の値を入力すればよいが、素子特性が定義されていない場合がある。このような場合には、新たな素子特性を定義する必要がある。図5に示されたように、特性名及び当該特性の定義の内容を入力する。この素子特性の定義は、一つの回路素子の特性に限らず、複数の素子で構成された回路の特性を定義する場合にも用いることができる。

【0013】データ処理部1は、後述するプロセスパラメータ感度、モデルパラメータ感度、プロセスパラメータ変動量、所望素子特性を有するモデルパラメータセットの抽出、並びに低感度プロセスパラメータ判定等の各種演算処理を行うものであり、データ入出力部2から入力されたデータ、あるいは演算結果を記憶する内部記憶部9を有している。

【0014】また、データ処理部1には外部記憶部3が接続されている。外部記憶部3は、例えばハードディスクにより構成され、基準モデルパラメータ10の他に、プロセスシミュレーション、デバイスシミュレーション、あるいは回路シミュレーション等の各種シミュレーション結果11が記憶される。基準モデルパラメータ10は、データ入出力部2よりオペレータによって入力されるが、図示されていない外部のモデルパラメータ抽出装置から出力された基準モデルパラメータのデータをデータフォーマット変換により取り込んでよい。

【0015】ここで、プロセスパラメータ感度とは、プロセスパラメータを $\Delta$ ずらした場合に、素子特性値が $\Delta$ ずれるとした場合の値 $\Delta' / \Delta$ とする。同様に、モデルパラメータ感度とは、モデルパラメータを $\Delta$ ずらした場合に、素子特性値が $\Delta$ ずれるとした場合の値 $\Delta' / \Delta$ とする。

【0016】プロセスシミュレータ4は、データ処理部1がプロセスパラメータ感度の演算処理を行うためにプロセスシミュレーションを行う場合に動作する。より具体的には、データ入出力部2から、あるいは外部記憶部3から与えられたプロセスフローや、その属性値に相当

するプロセスパラメータや、マスクパターンを示すマスクデータを用いて、データ処理部1が素子構造をシミュレートする場合にプロセスシミュレータ4が動作する。得られた素子構造のデータが、内部記憶部9又は外部記憶部3に記憶される。同様に、デバイスシミュレータ5は、データ処理部1が素子構造から得られるデバイスの特性をシミュレーションするためのデバイスシミュレーションを行う場合に動作する。回路シミュレータ6も同様に、データ処理部1が回路シミュレーションを行う場合に動作する。

【0017】オブティマイザ7は、算出されたモデルパラメータをさらに最適値へ合わせ込むために用いられる。これは、モデルパラメータの算出、及びプロセスパラメータの変動量の算出において、1次近似式が用いられて誤差が含まれていることに対応するものである。算出されたモデルパラメータを初期値とし、目的関数には例えば所望の素子特性と回路シミュレーション結果より求めた素子特性との差の二乗和が用いられ、収束の判定には所望の素子特性に対する所定の許容値が用いられる。最適化の手法としては例えば挟みうち法やニュートン法等が用いられる。

【0018】RSM (RESPONSE SURFACE MODEL) 作成ツール8は、パラメータの最適化を適切に行なうために用いられるもので、得られたRSMを用いることで関連するモデルパラメータを相互に連動させて変化させることができ、不自然なパラメータになることを防ぐことができる。RSMを用いない場合には、注目している素子特性に対する感度が最も大きいモデルパラメータを最適化パラメータとして選択してもよい。

【0019】次に、このような装置を用いてモデルパラメータの作成を行うことが可能な、本発明の第1の実施の形態によるモデルパラメータ作成支援方法の手順について、図1のフローチャートを用いて述べる。ステップ100として、所望の素子特性と、変動プロセスパラメータ等のデータをデータ入出力部2より入力し、内部記憶部9又は外部記憶部3に記憶する。

【0020】ステップ102として、回路シミュレータを用いて、データ処理部1がモデルパラメータ感度の演算を行い、ステップ104としてプロセスパラメータ感度の演算を行う。このステップ102とステップ104の処理はそれぞれ独立して行うことができる。モデルパラメータ感度の演算は、外部記憶部3に記憶されている基準モデルパラメータ10と、入出力部2から入力された対象とする素子特性の名称を入力データとして、基準モデルパラメータの近傍で行う。これは、基準モデルパラメータの近傍であれば、線形性があるとみなすことができることに基づいている。同様に、プロセス情報、即ち基準となるプロセスパラメータと、マスクパターンを示すマスクデータとを入力として、モデルパラメータに対するプロセスパラメータの感度を、基準となるプロセ

スパラメータセットの近傍で演算する。

【0021】ステップ106として、プロセスパラメータ変動量の見積もり処理を行う。この処理は、所望の素子特性と、基準モデルパラメータセットの示す素子特性との差と、上記ステップ102及び104で求めたモデルパラメータ及びプロセスパラメータのそれぞれの感度とを用いて行う。具体的には、プロセスパラメータの変動量 $\Delta P$ の見積もり処理は、次のようにして求める。

【0022】(1) 1特性1プロセスパラメータである場合

【0023】

【数1】

$$\Delta D \approx \left( \sum_{i=1}^N \frac{\partial D}{\partial S_i} \cdot \frac{d S_i}{d P} \right) \Delta P \quad \dots (1)$$

従って、

【0024】

$$\Delta P = \begin{pmatrix} \Delta P_1 \\ \vdots \\ \Delta P_M \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{pmatrix} \left[ \sum_{k=1}^N \frac{\partial D_1}{\partial S_k} \cdot \frac{d S_k}{d P_j} \dots \right]^{-1} \begin{pmatrix} \Delta D_1 \\ \vdots \\ \Delta D_M \end{pmatrix} \quad \dots (3)$$

ここで、 $\Delta D$ はi番目の素子特性のシフト量、

$\frac{\partial D_i}{\partial S_i}$  はi番目の素子特性に対するモデルパラメータ感度、

$\frac{d S_k}{d P_j}$  はk番目のモデルパラメータに対するプロセスパラメータ感度

上記式は、モデルパラメータ感度と、プロセスパラメータ感度とを用いて、1次近似式によりプロセスパラメータ変動量 $\Delta P$ を求めるものである。

【0026】次に、ステップ108として、上記ステップ104で求めたプロセスパラメータ感度、及び上記ステップ106で求めたプロセスパラメータ変動量を用いて、データ処理部1が所望の素子特性を有するモデルパラメータを求める。このモデルパラメータセットの計算は、外部記憶部3に記憶されている基準モデルパラメータ10による値 $S_{i \text{ typ}}$ を用いて、以下のように求めることができる。

$$S_{i \text{ new}} = S_{i \text{ typ}} + \left[ \frac{\partial S_i}{\partial P_1} \dots \frac{\partial S_i}{\partial P_M} \right] \Delta P \quad \dots (5)$$

さらに、ステップ110として、オブティマイザ7又は/及びRSM作成ツール8を用いて、求めたモデルパラメータの最適化を行い、その結果を出力する。具体的には、上記ステップ108において求めたモデルパラメータ

【数2】

$$\Delta P = \frac{\Delta D}{\sum_{i=1}^N \frac{\partial D}{\partial S_i} \cdot \frac{d S_i}{d P}} \quad \dots (2)$$

ここで、 $\Delta D$ は素子特性のシフト量、

$\frac{\partial D}{\partial S_i}$  はモデルパラメータ感度、

$\frac{d S_i}{d P}$  はプロセスパラメータ感度

とする。

(2) M特性Mプロセスパラメータである場合

【0025】

【数3】

【0027】(3) 1特性1プロセスパラメータである場合

【0028】

【数4】

$$S_{i \text{ new}} = S_{i \text{ typ}} + \frac{d S_i}{d P} \cdot \Delta P \quad \dots (4)$$

(4) M特性Mプロセスパラメータである場合

【0029】

【数5】

タセットを初期値として、所望の素子特性とモデルパラメータセットの示す素子特性との差が、所定の許容値以下になるようにモデルパラメータの値を調節する。これにより、所望の素子特性により台致したモデルパラメータ

タセットを出力することができる。

【0030】上記第1の実施の形態によれば、モデルパラメータ感度とプロセスパラメータ感度を求め、これらの値と、所望の素子特性と、基準モデルパラメータセットの示す素子特性との差とを用いて、プロセスが変動した場合の基準プロセスパラメータセットからのプロセスパラメータセットの変動量を見積もり、求めた変動量と、プロセスパラメータの感度と基準モデルパラメータセットとから所望素子特性を有するモデルパラメータセットを求めることで、プロセス変動の影響を考慮したモデルパラメータセットを容易に作成することができる。従って、試作した素子のサンプルからのモデルパラメータの抽出回数を大幅に減少させることができ、早期の回路設計への着手が可能となる。

【0031】また、モデルパラメータ又はプロセスパラメータの感度を求めることによって、得られた情報には、他のパラメータと当該パラメータとが連動する相互間の影響が含まれることになる。

【0032】さらに、得られたモデルパラメータセットは、基準モデルパラメータに対して連続的な変動傾向を示すので、回路設計者にとり各モデルパラメータが持つそれぞれの特徴を把握することが容易である。また、回路設計者が必要な素子特性、あるいは回路特性に関するモデルパラメータセットを求めることで、回路設計に必要なモデルパラメータのコーナセットを作成することができる。即ち、ばらつきの範囲を限定するコーナセットの4つの値でも回路が動作するように設計すれば、回路設計上問題が生じないと判断することができる。変動を仮定したプロセスパラメータのおおのに対してモデルパラメータセットを求めることによりモデルパラメータが実質的にばらつく範囲を知ることができる。このモデルパラメータを用いて回路シミュレーションを行なえばプロセスのばらつきにより回路特性が仕様を満足するかどうかを判断することができる。

【0033】本発明の第2の実施の形態によるモデルパラメータ作成支援方法の手順について、図3のフローチャートを用いて説明する。ステップ200として、所望の素子特性と、変動プロセスパラメータ等のデータをデータ入出力部2より入力し、内部記憶部9又は外部記憶部3に記憶する。

【0034】ステップ202として、データ処理部1が、基準となるプロセスパラメータと、マスクパターンを示すマスクデータとを入力データとして、モデルパラメータに対するプロセスパラメータの感度を、基準となるプロセスパラメータセットの近傍で求める。

【0035】ステップ204として、低感度プロセスパラメータの判定処理を行う。これは、モデルパラメータセットに含まれている任意のモデルパラメータに対するプロセスパラメータの感度と、各モデルパラメータ毎に、それぞれに設定された許容値とを比較して、当該プ

ロセスパラメータの感度が無視し得るものであるか否か（低感度であるか否か）を判定する。

【0036】そして、当該プロセスパラメータの感度が低く無視し得るものであると判定された場合には、プロセス変動によって当該モデルパラメータが受ける影響は小さく、無視できるものとする。このようにしてプロセス変動による影響を無視できると判定されたモデルパラメータについては、当該モデルパラメータの素子特性に対する感度計算の処理を削除する。

【0037】この低感度の判定結果は、内部記憶部9において、モデルパラメータ毎にマトリクスの形式にて格納される。また許容値を示すデータは、予めファイルの形式でデータ入出力部2において作成され、外部記憶部3に記憶される。

【0038】そして、以下のステップ208において行うプロセスパラメータ変動量の見積もり処理において、当該モデルパラメータの影響を素子特性変動量の計算から除外し、ステップ210におけるモデルパラメータの計算では、当該モデルパラメータの値として基準モデルパラメータセットの値を用いる。このように、プロセス変動の影響を無視し得るモデルパラメータに関しては、当該モデルパラメータの感度計算と、プロセスパラメータ変動量の見積もり処理において演算を削減し、演算速度を向上させることができる。

【0039】ステップ206として、上記ステップ204において、プロセスパラメータの感度が低いと判断された当該モデルパラメータを除いた他のモデルパラメータの感度計算を行う。

【0040】以下、ステップ208としてプロセスパラメータ変動量の見積もり処理を行い、ステップ210としてモデルパラメータの計算を行い、ステップ212としてモデルパラメータの最適化を行う。

【0041】本発明の第3の実施の形態によるモデルパラメータ作成支援方法は、図6のフローチャートに示されたような手順に従って、プロセスパラメータの感度の計算結果とモデルパラメータの感度の計算結果とを用いて素子特性の制御判定を行い、図7のフローチャートに示されたような手順に従ってプロセスパラメータの数を削減する点に特徴がある。

【0042】先ず図6において、ステップ300として所望の素子特性を入力あるいは選択する。予め、複数の素子特性と、同数又はより多いプロセスパラメータを指定しておく。そして、指定された各々の素子特性を、当該プロセスパラメータによって制御が可能であるか否か、即ちその素子特性に当該プロセスパラメータが大きい影響を与えるものであるか否かを以下のステップに沿って判定し、制御不可能である素子特性は削除する処理を行う。

【0043】ステップ302として、モデルパラメータに対するプロセスパラメータの感度を計算する。



【0044】ステップ304として、全ての指定プロセスパラメータ感度が低感度であるモデルパラメータを削除する。即ち、指定された全てのプロセスパラメータが大きな影響を与えない、感度の低いモデルパラメータを予め削除しておく。これは、モデルパラメータの感度の演算量が多くなり過ぎて処理に時間がかかるのを防止するために行うものである。

【0045】ステップ306として、複数存在する素子特性の中から、1つの素子特性を選択する。

【0046】ステップ308として、当該素子特性に対する上記ステップ304において削除されずに残っているモデルパラメータの感度を計算する。

【0047】ステップ310において、算出されたモデルパラメータの感度が所定の許容値よりも低いか否かを判定する。ステップ308での計算対象のモデルパラメータの感度が低いと判断された場合は、次のステップ312において当該素子特性を削除する。即ちステップ310において、ステップ308での計算対象のモデルパラメータの当該素子特性に与える影響が小さい場合は、いずれのプロセスパラメータによっても当該素子特性を制御することはできないと判断する。逆に、モデルパラメータの感度が許容値よりも高い場合は、削除せずにステップ314へ移行し、残りの素子特性についても1つずつ選択して上記306～310の処理を行っていく。

【0048】次に、素子特性の数とプロセスパラメータの数とが同一になるように、図7のフローチャート示される手順により感度の低いプロセスパラメータを削除する。ここで、プロセスパラメータの数を素子特性の数と同一にするのは、上記(3)式を用いてプロセスパラメータ変動量 $\Delta P$ を求める際に必要だからである。次に、ステップ402において素子特性を1つ選択し、低感度のモデルパラメータを削除する。

【0049】ステップ404において、選択した当該素子特性に対して影響を与える高感度な有効プロセスパラメータは1つのみか否かを判断する。有効プロセスパラメータが1つしか存在しないということは、当該素子特性に対して影響を与える有効プロセスパラメータ1つとが、対の関係にあることを意味する。よって、この組み合わせはそのまま上記(3)式に入力することができるので、ステップ406において抽出しておく。もし、有効プロセスパラメータが無い場合はステップ405として当該素子特性は、従属特性であると判断して削除する。

【0050】ステップ404において、有効プロセスパラメータが2つ以上存在すると判断すると、ステップ408において、プロセスパラメータの感度とモデルパラメータの感度とを乗算して、値の大きい順、即ち当該素子特性に影響を与えるのが大きい順にプロセスパラメータを並び変える。

【0051】ステップ410として、全ての素子特性に

対して上記402～408の処理が終了したか否かを判断し、終了した場合には次のステップ412に移行する。

【0052】ステップ412において、各々の素子特性毎に、先頭のプロセスパラメータ、即ち当該素子特性に与える影響が最も大きいプロセスパラメータが、他の素子特性における先頭のプロセスパラメータと重複していないかどうかを判断する。そして、重複していない場合、即ち他の素子特性には影響を与えず当該素子特性に対してのみ最も大きな影響を与えるプロセスパラメータが存在する場合は、このプロセスパラメータと当該素子特性との組み合わせを抽出する。

【0053】ステップ414として、上記ステップ406又はステップ412により抽出されなかった素子特性がまだ残っているか否かを判断し、残っている場合は次のステップ416へ移行し、残っていない場合はステップ418において残った不必要なプロセスパラメータは削除する。

【0054】ステップ416として、残りの素子特性の数と同一の数のプロセスパラメータを、ステップ408において作成したリストの順に取り出す。そして、ステップ418において不要なプロセスパラメータを削除する。

【0055】このようにして、いずれかのプロセスパラメータが影響を与え得る素子特性、即ちプロセスパラメータによって制御することが可能な素子特性と、所望の素子特性を実現するために必要なプロセスパラメータとの組み合わせが定まる。

【0056】この後は、上記第1の実施の形態と同様に図1に示されたステップ106～110の処理を行って、モデルパラメータを作成する。この第3の実施の形態によれば、それぞれの素子特性に影響を与えないプロセスパラメータを除外することで、素子特性と素子特性の制御が可能なプロセスパラメータとを確実に関係付けることができ、上記(3)式により求まるプロセス変動 $\Delta P$ の値を単一に決定することが可能である。

【0057】本発明の第4の実施の形態は、上記第3の実施の形態において自動的に行っていた素子特性とプロセスパラメータとの組み合わせの抽出処理を、操作者がデータ入出力部2の画面を見ながら対話形式で行う点に特徴がある。ステップ500～510までは、第3の実施の形態におけるステップ400～410と同様である。

【0058】ステップ512において、上記ステップ508において作成した素子特性毎の有効プロセスパラメータのリストを画面に表示し、操作者が削除するパラメータを指定する。

【0059】ステップ514において、素子特性とプロセスパラメータの数が同一になったと判断されるまで、ステップ512におけるプロセスパラメータの削除を繰

続する。そして、ステップ516において、残った不必要なプロセスパラメータを削除して作業を終了する。この後、第1～第3の実施の形態と同様に、プロセスパラメータの変動量の見積もり、モデルパラメータの算出及び最適化を行う。

【0060】上述した実施の形態はいずれも一例であって、本発明を限定するものではない。例えば、第1の実施の形態ではステップ110としてモデルパラメータの最適化を行っているが、高精度を要求されない場合には必ずしもこの処理を行う必要はない。また、本発明のモデルパラメータ作成支援装置は、図2に示された装置と同一の構成を備える必要はなく、図1におけるステップ100～108の処理が可能なものであればよい。

【0061】

【発明の効果】以上説明したように、本発明のモデルパラメータ作成支援方法及びその装置によれば、モデルパラメータ及びプロセスパラメータの感度を求め、所望の素子特性と基準モデルパラメータセットの示す素子特性との差と求めた感度とを用いて、プロセスが変動した場合の基準モデルパラメータセットの変動量を見積もり、プロセスパラメータの感度と基準モデルパラメータセットとから所望素子特性を有するモデルパラメータセットを求めることで、プロセス変動の影響を反映したモデルパラメータセットを容易に作成することが可能であり、試作した素子のサンプルからのモデルパラメータの抽出回数を大幅に減少させることができ、処理効率が向上する。また、得られたモデルパラメータセットは、個々のパラメータが、基準モデルパラメータに対し、連続的な変動傾向を示すので、設計者にとりモデルパラメータ個々の特徴を把握することが容易である。さらに、素子特性あるいは回路特性の仕様を満足するモデルパラメータのコーナーセットが得られる為、ばらつきのデータが不十分な場合でも、回路の検証を行なうことができる。

【図4】

<input checked="" type="checkbox"/>	特性 A	120
<input checked="" type="checkbox"/>	特性 B	5E9
<input type="checkbox"/>	特性 C	
<input checked="" type="checkbox"/>	特性 D	1
<input type="checkbox"/>	特性 E	

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態によるモデルパラメータ作成支援方法の手順を示したフローチャート。

【図2】本発明の一実施の形態によるモデルパラメータ作成支援装置の構成を示したブロック図。

【図3】本発明の第2の実施の形態によるモデルパラメータ作成支援方法の手順を示したフローチャート。

【図4】同第1、第2の実施の形態によるモデルパラメータ作成支援方法において、所望の素子特性を入力するときの入出力部における画面表示の一例を示した説明図。

【図5】同第1、第2の実施の形態によるモデルパラメータ作成支援方法において、新たな素子特性を定義するときの入出力部における画面表示の一例を示した説明図。

【図6】本発明の第3の実施の形態によるモデルパラメータ作成支援方法の手順を示したフローチャート。

【図7】同第3の実施の形態によるモデルパラメータ作成支援方法の手順を示したフローチャート。

【図8】本発明の第4の実施の形態によるモデルパラメータ作成支援方法の手順を示したフローチャート。

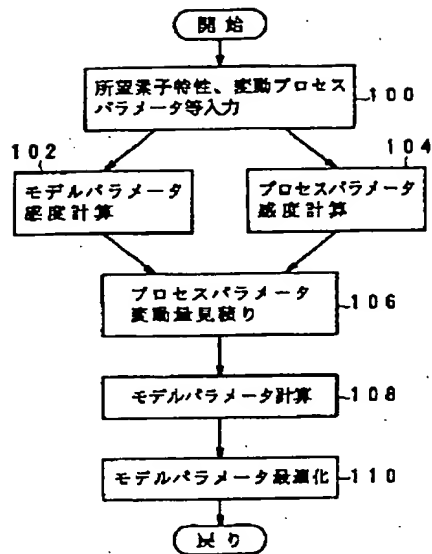
【符号の説明】

- 1 データ処理部
- 2 データ入出力部
- 3 外部記憶部
- 4 プロセスシミュレータ
- 5 デバイスシミュレータ
- 6 回路シミュレータ
- 7 オプティマイザ
- 8 RSM作成ツール
- 9 内部記憶部
- 10 基準モデルパラメータ
- 11 各種シミュレーション結果

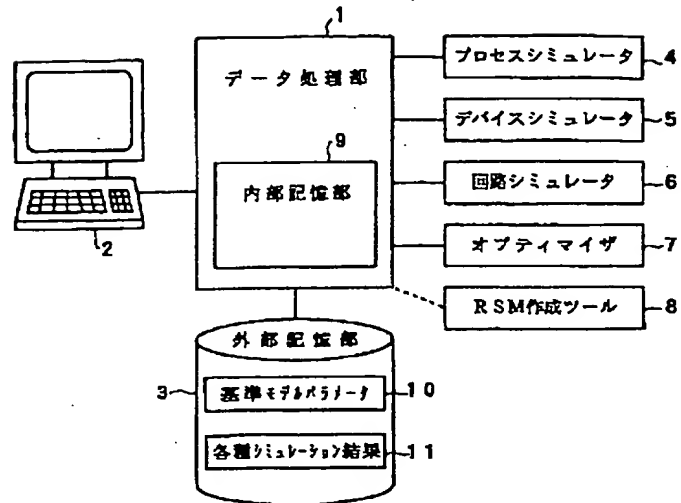
【図5】

特性名	ABC
特性定義	
<pre> SIM("FILE_A"); GET("ABC"); : : : </pre>	

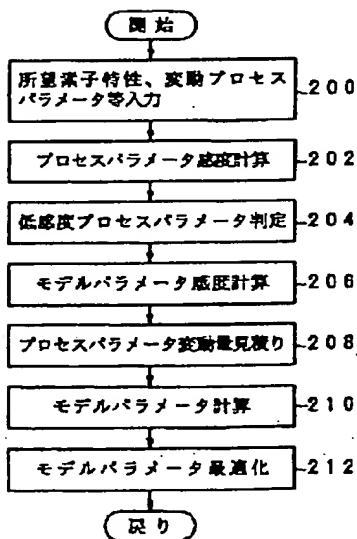
【図1】



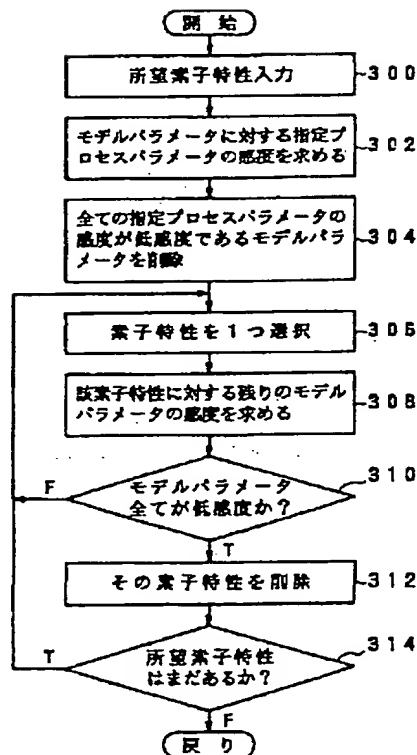
【図2】



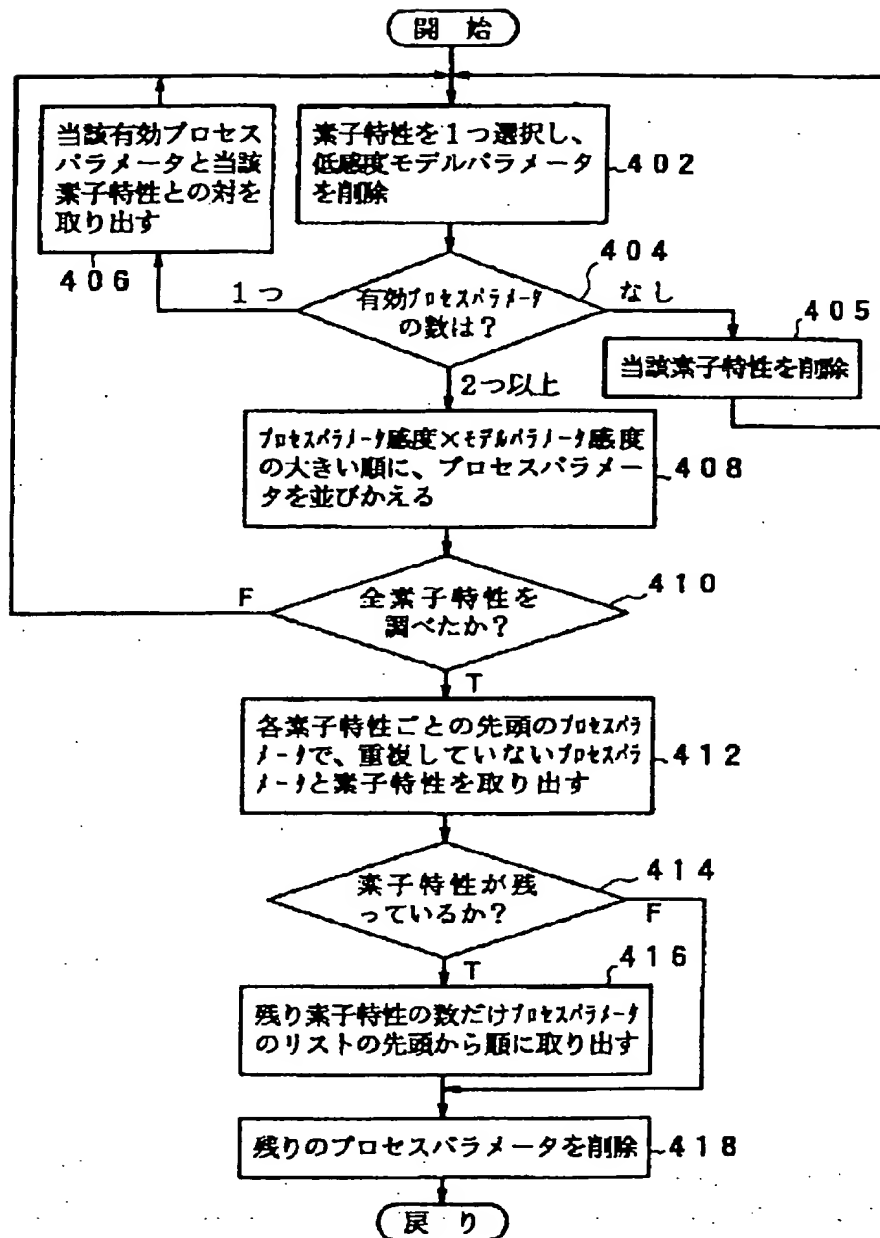
【図3】



【図6】



【図7】



【図8】

